

**Oleksandr
M. Stukalenko**
Стукаленко
Олександр
Михайлович

УДК 621.874

MATHEMATICAL MODEL OF HOLDING AN ARROW OF AN ARTICULATED CRANE AFTER A CABLE CLIFF

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УТРИМАННЯ СТІЛИ СТІЛОВОГО КРАНА ПІСЛЯ ОБРИВУ ТРОСА

DOI 10.15589/SMI20180206

Oleksandr M. Stukalenko

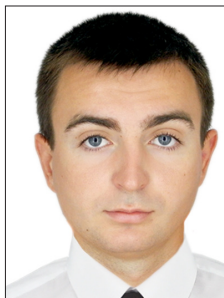
О. М. Стукаленко, ст. викл. СДУ і ХТ
alexstuk71@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3025-7013

Dmytro I. Vasylets

Д. І. Василець, асист. каф. СДУ і ХТ
vasylets1990@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9302-8832

*National University «Odessa Maritime Academy», Odessa**Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса*

**Dmytro
I. Vasylets**
Василець
Дмитро
Іванович

Abstract. One of the problems that arise during the operation of trucks is the crashes that arise as a result of the breakage of the rope chainsaw. This inevitably leads to the fall of an arrow and can be accompanied by significant material damage, human casualties, environmental disasters, etc. One of the options to prevent a drop in an arrow after a cable cliff is to use the reserve in the power cord of the crane. Structurally, it is implemented as a dual polypast with two separate ropes and a leveling device. When breaking one rope the arrow is held on the second. The simplest version of the equalizer is the balance. But theoretical studies of such structures have proved that it is impossible to prevent a crash when working with a nominal load – the dynamics coefficients in the crane elements exceed the safety margins. The construction of a double-acting jib-polispast, which was developed for the “Bogatyr” floating crane, was considered. In order to eliminate the dynamic shock loads when breaking one cable to the second and keeping this arrow from falling, the ends of the cables are connected to a balancer mounted on a spring loaded rod. It was assumed that with the break of one cable, the balancer, thanks to the springs, maintains a constant distance between the points of attachment of the second cable on the frame and on the arrow, which provides a static application of dual effort on the whole cable. A two-mass dynamic model of a jib crane with a rope suspension bracket is made up. Completed mathematical modeling of the behavior of the composite dynamic model. The equations of motion of masses, which are solved by the Runge-Kutta method, are obtained. The dynamic forces and dynamic coefficients in the power chain of the jib crane are determined with the support of the arrow. The comparative analysis of the obtained dynamics coefficients and the strength ratios of ropes shows that it is impossible to hold an arrow for cranes with a handling capacity of more than 160 tons. The dynamic coefficient of effort in a jet rope is practically equal to its strength. Taking into account the reduction of the carrying capacity of the cable during its wear to the standards of failure, as well as the loss of its strength when bending on the blocks, we can conclude that the spring loaded balance does not provide the necessary reduction of dynamic loads, even for light cranes. In order to ensure that the arrow does not drop off after the break of the rope line, it is necessary to develop new technical solutions. This requires further research of the dynamic processes in the crane power circuit after the break of the cable of the jet cascade, and the definition of the necessary laws of resistance to the motion of equalizing devices.

Keywords: jib crane; rope breakage; dual polypast with balancer; safe twin polypast.

Анотація. Однією з проблем, що виникають під час експлуатації вантажних машин, є аварії, які виникають унаслідок обриву троса стрілового поліспасти. Це неминує призводить до падіння стріли і може супроводжуватися значними матеріальними збитками, людськими жертвами, екологічними катастрофами тощо. Одним з варіантів запобігання падінню стріли після обриву троса є використання резервування у силовому ланцюзі крана. Конструктивно це реалізується як здвоєний поліспаст із двома окремими тросами і зрівняльним пристроєм. При обриві одного троса стріла втримується на другому. Найбільш простим варіантом зрівняльного пристрою є балансір. Але теоретичні дослідження таких конструкцій довели, що запобігти аварії в роботі з номінальним вантажем не є можливим, адже коефіцієнти динамічності зусиль в елементах крана перевищують запаси міцності.

Розглянуто конструкцію зведеного стрілового поліспаста, яка була розроблена для плавкрана «Богатырь». Із метою усунення динамічних ударних навантажень при обриві одного троса на другий і утримання завдяки цьому стріли від падіння кінці тросів приєднані до балансира, змонтованого на підпружиненому штоку. Передбачалося, що при обриві одного троса балансір завдяки пружинам зберігає постійну відстань між точками кріплення другого троса на каркасі й на стрілі, чим забезпечує статичне прикладення подвійного зусилля до цілого троса. Складено двомасову динамічну модель стрілового крана з тросовим підвісом стріли. Виконано математичне моделювання поведінки розробленої динамічної моделі. Отримано рівняння руху мас, які розв'язані методом Рунге-Кутта. Визначено динамічні зусилля та коефіцієнти динамічності зусиль у силовому ланцюзі стрілового крана за умов утримання стріли. Порівняльний аналіз отриманих коефіцієнтів динамічності і коефіцієнтів запасу міцності тросів показує, що для кранів вантажопідйомністю 161 т і більше втримати стрілу не є можливим. Коефіцієнт динамічності зусилля у стріловому тросі практично дорівнює його запасу міцності. З урахуванням зниження несучої здатності троса під час його зносу до норм бракування, а також втрати його міцності при згині на блоках можна зробити висновок, що підпружинений балансір не забезпечує необхідне зниження динамічних зусиль навіть для легких кранів. Для забезпечення виключення падіння стріли після обриву троса стрілового поліспаста необхідно розробити нові технічні вирішення. Це вимагає подальших досліджень динамічних процесів у силовому ланцюзі крана після обриву зазначеного троса та визначення необхідних законів опору руху зрівняльних пристроїв.

Ключові слова: стріловий кран; обрив каната; зведений поліспаст із балансіром; безпечний зведений поліспаст.

Аннотация. Одной из проблем, которые возникают при эксплуатации грузовых машин, являются аварии, возникающие вследствие обрыва троса стрелового полиспаста. Это неизбежно приводит к падению стрелы и может сопровождаться значительными материальными убытками, человеческими жертвами, экологическими катастрофами и др. Одним из вариантов предотвращения падения стрелы после обрыва троса является использование резервирования в силовой цепи крана. Конструктивно это реализуется как сдвоенный полиспаст с двумя тросами и уравнильным устройством. При обрыве одного троса стрела удерживается на втором. Наиболее простым вариантом уравнильного устройства является балансир. Но теоретические исследования таких конструкций доказали, что предотвратить аварии в работе с номинальным грузом невозможно, ведь коэффициенты динамичности усилий в элементах крана превышают запасы прочности. Рассмотрена конструкция сдвоенного стрелового полиспаста, которая была разработана для плавкрана «Богатырь». С целью устранения динамических ударных нагрузок при обрыве одного троса на второй и удержания благодаря этому стрелы от падения концы тросов присоединены к балансиру, смонтированному на подпружиненном штоке. Предполагалось, что при обрыве одного троса балансир благодаря пружинам сохраняет постоянное расстояние между точками крепления второго троса на каркасе и на стреле, чем обеспечивает статическое приложение двойного усилия к целому тросу. Составлена двухмассовая динамическая модель стрелового крана с тросовым подвесом стрелы. Выполнено математическое моделирование поведения разработанной динамической модели. Получены уравнения движения масс, решенные методом Рунге-Кутты. Определены динамические усилия и коэффициенты динамичности усилий в силовой цепи стрелового крана в условиях удержания стрелы. Сравнительный анализ полученных коэффициентов динамичности и коэффициентов запаса прочности тросов показывает, что для кранов грузоподъемностью 161 т и более удержать стрелу не представляется возможным. Коэффициент динамичности усилия в стреловом тросе практически равен его запасу прочности. С учетом снижения несущей способности троса во время его износа нормам браковки, а также потери его прочности при изгибе на блоках можно сделать вывод, что подпружиненный балансир не обеспечивает необходимое снижение динамических усилий даже для легких кранов. Для обеспечения исключения падения стрелы после обрыва троса стрелового полиспаста необходимо разработать новые технические решения. Это требует дальнейших исследований динамических процессов в силовой цепи крана после обрыва указанного троса и определения необходимых законов сопротивления движению уравнильных устройств.

Ключевые слова: стреловой кран; обрыв каната; сдвоенный полиспаст с балансиrom; безопасный сдвоенный полиспаст.

References

- [1] Stukalenko, A. M., & Kyilyinnyk, A. A. (2016). Analiz dinamicheskikh nagruzok sudovogo strelovogo kрана pri otkaze topenanta sdvoennogo strelovogo polispasta. *Energetika sudna: ekspluatatsiya ta remont* : Adstracts Conf., 21.03.12–23.03.12, T. 1., Odesa, 32-33.
- [2] Kosyachenko, I. G. (1973). Patentosposobnost morskikh plavuchih kранov. *Sudostroenie*, 4, 26-28.
- [3] *Sdvoennyiy polispast strelovogo kрана*: a.s. 170159 SSSR, MPK V 66s. no 840909/27-11; zayavl. 10.04.61; opubl. 09.04.65, Byul. no 8.
- [4] Nomerovannyiy, B. S., & Kozlov, M. A. (1971). Raspredelenie usilий v vetvyah kanata bezopasnogo kanatnogo polispasta pri obryve odnoy iz nih. *Stalnyie kanaty*: Scientific bull. Kiev: Tehnika, 8, 217-219.
- [5] Stukalenko, M. I., Stukalenko, A. M., & Semenyuk, V. F. (2001). Sozdanie bezopasnyih sdvoennyih polispastov s uravnitelnymi friktsionnymi ustroystvami. *Pod'emnyie sooruzheniya i spetsialnaya tehnika*, 2, 9-11.

- [6] Kozlov, M. A., Vudvud, A. N., & Himchenko, V. G. (2009). Teoriya i praktika proek-tirovaniya ustroystv, predotvrashchayuschih avarii gruzopod'emnyih kranov pri obryive kanatov. *Pod'emnyie sooruzheniya i spetsialnaya tehnika*, 1, 29-30.
- [7] Shvachunov, A. S., & Dorohov, N. Yu. (2013). Proektirovaniya ustroystv, predot-vrashchayuschih avarii gruzopod'emnyih kranov pri obryive kanata. *Mashinobuduvannya: Scientific bull.* Harkiv, 11, 76-81.
- [8] Register of Shipping of Ukraine (2011). Rules for Cargo-Handling Gear of Sea-Going Ships ed.
- [9] Nikitin, I. F., & Scherbak, O. V. (2007). Issledovanie izgiba kanata na blokah. *Vestnik HNADU*, 38, 108-110.

Постановка задачі. Під час проведення вантажних операцій широко застосовуються стрілові крани. Одним з варіантів механізму зміни вильоту стріли є механізм із поліспастовим підвісом, переваги якого особливо виражені у кранах великої вантажопідйомності — менша вага стріли, яка працює лише на стискання, а також швидкість укладання стріли у положення «по похідному».

Однією з проблем в експлуатації стрілових кранів із поліспастовим підвісом стріли є аварії внаслідок падіння стріли у разі обриву троса. Такі аварії призводять до простоїв під час проведення вантажних операцій, матеріальних збитків, а також можуть призвести до людських жертв. Крім того, вантаж, який буде пошкоджений у разі падіння стріли, може бути вибухонебезпечним, отруйним для навколишнього середовища.

У стрілових кранах із тросовим підвісом стріли можливе застосування стрілових поліспастів як одинарних, так і здвоєних. У здвоєних поліспастах зрівняльним елементом використовується блок або (особливо у важких кранах) балансир. У разі застосування останнього використовуються два окремих троси. Таким чином, у системі з'являється резервування за умов паралельного з'єднання елементів і є можливість утримання стріли від падіння при обриві одного з тросів на другому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження можливості утримання стріли після обриву троса у здвоєному стріловому поліспасті з балансиrom [1] показали, що коефіцієнт динамічності зусилля у стріловому поліспасті значно перевищує запас міцності троса, який залишається цілим. Це вказує на неминучість падіння стріли з вантажем.

Із метою усунення при обриві троса динамічних ударних навантажень було розроблено конструкцію стрілового поліспаста для плавкрана «Богатырь» [2; 3], у якій дві гілки тросів приєднані до балансира, що закріплений на штоку пружинного компенсатора-уловлювача, змонтованого на каркасі. За обриву однієї з гілок компенсатор-уловлювач зберігає постійну відстань між точками кріплення на каркасі й на стрілі цілої гілки троса, чим забезпечується статичне подвійне її навантаження.

На рис. 1 наведено загальний вигляд здвоєного поліспаста, на рис. 2, *а* — пружинний компенсатор, на рис. 2, *б* — розріз його по *В-В*.

Здвоєний поліспаст складається з груп *А* і *Б* обвідних блоків із запасованими на них двома гілками тросів *1*. Група *А* обвідних блоків змонтована на стрілі, а група *Б* — на каркасі.

Обидві гілки тросів за допомогою муфт 2 і пальців 3 прикріплені до балансира 4, з'єданого із центральним штоком 5 компенсатора-уловлювача 6.

Компенсатор-уловлювач 6 завдяки двом цапфам 7 і підшипникам ковзання 8 (див. рис. 2) може повертатися до горизонтальної осі каркаса крана, забезпечуючи строго осьове прикладення зусилля до центрального штока 5 за будь-якого положення стріли.

У литому корпусі 9 компенсатора-уловлювача (див. рис. 2) поміщено два пакети тарілчастих пружин 10, надягнутих на штоки 11, що оснащені обмежниками 12 і з'єднані із центральним штоком 5 за допомогою двох серг 13.

У нормальному експлуатаційному стані навантаження від стріли розподіляється рівномірно між гілками тросів *1*, при цьому балансир 4 перебуває в рівноважному положенні, а пружини 10 компенсатора-уловлювача стиснені так, що вісь цапфи 7 відстоїть від осей пальців 3 балансира 4 на відстані *С* (див. рис. 2).

За обриву будь-якої гілки тросів точка *а* кріплення гілки троса *1* до балансира 4 одночасно бере участь у двох рухах: в обертальному щодо осі балансира під дією подвоєного зусилля гілки, що не обірвалася, та у поступальному разом із центральним штоком 5 під дією сил пружності пружин 10. Результувальний рух точки *а* у напрямі зусиль дорівнює нулю, внаслідок чого відстань *С* до й після обриву зберігається незмінною, усуваються ударні навантаження на цілу гілку і стріла втримується від падіння.

З опису конструкції авторами слідує, що перерозподіл зусиль у гілках поліспаста після обриву однієї з них розглядався за схемою статичного прикладення зусилля до цілої гілки троса завдяки забезпеченню незмінного положення точки кріплення її до балансира.

Аналіз конструкції дає змогу стверджувати таке. Пружини компенсатора є ланкою пружного ланцю-

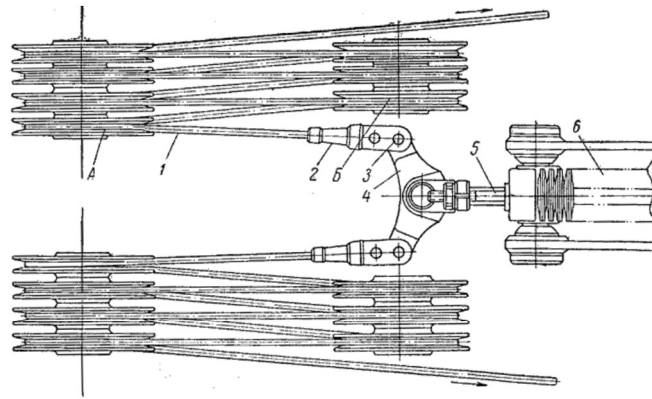


Рис. 1. Здвоєний стріловий поліспаст

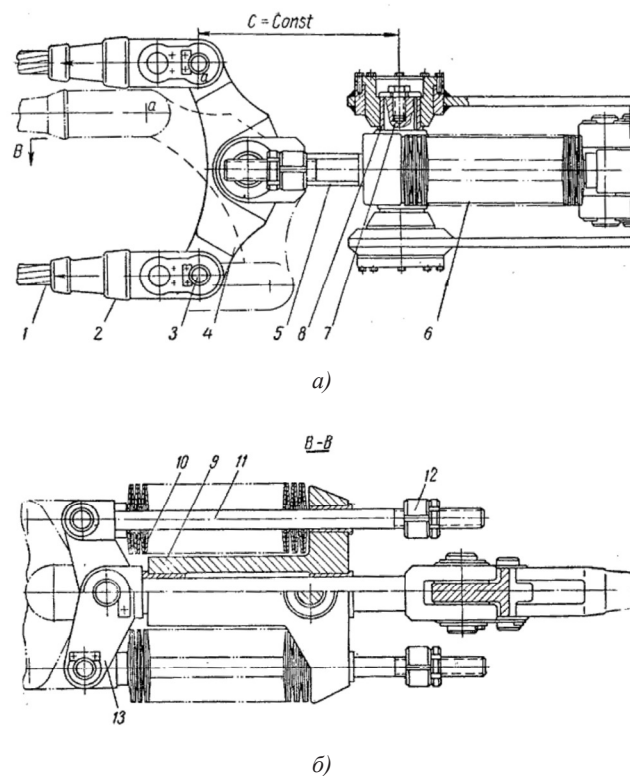


Рис. 2. Пружинний компенсатор-уловлювач

га «стріловий поліспаст–компенсатор-уловлювач», що зв'язує стрілу з каркасом крана. Жорсткість цього ланцюга визначається за умов послідовного з'єднання елементів, а зусилля у ньому визначається не тільки жорсткістю поліспастового підвісу. Крім того, коли спрацьовує компенсатор-уловлювач, пружини стискання подовжуються і деформація ланцюга «поліспастовий підвіс–компенсатор-уловлювач» зменшується. Отже, зусилля у поліспастовому підвісі стріли в момент обриву троса зменшується, поперше, за рахунок зменшення жорсткості пружного зв'язку стріли з каркасом, по-друге, за рахунок зменшення деформації цього зв'язку.

Крім того, дослідження, які проводились для такого завдання у разі використання здвоєного поліспаста у вантажному підвісі [4], показують, що навіть за відсутності ділянки вільного руху зрівняльного елемента здвоєного поліспаста виникають динамічні зусилля, які перевищують статичні. Ця обставина зумовила виникнення цілого напрямку зі створення конструкцій, які отримали назву «Безпечні здвоєні поліспасты», у яких передбачається зменшення динамічних навантажень під час утримання вантажу при обриві троса за рахунок використання у зрівняльному пристрої гідравлічних або фрикційних демпферів [5–7].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ — визначення можливості утримання стріли у стріловому крані після обриву троса під час застосування пружинного компенсатора-уловлювача у зрівняльному пристрої здвоєного стрілового поліспасти.

Для цього необхідно:

- скласти динамічну модель стрілового крана з тросовим підвісом стріли під час утримання стріли після обриву троса;
- виконати математичне моделювання поведінки динамічної моделі;
- вибрати метод дослідження математичної моделі та провести ці дослідження;
- визначити розрахункові динамічні зусилля та коефіцієнти динамічності у силовому ланцюзі стрілового крана при утриманні стріли;
- порівняти отримані коефіцієнти динамічності і коефіцієнти запасу міцності елементів крана;
- провести аналіз отриманого математичного результату.

Основний матеріал. Для розрахунку динамічних зусиль під час утримання стріли розглянутий найпростіший випадок без урахування впливу роботи механізмів підйому вантажу, зміни вильоту стріли та повороту крана. Зважаючи на те, що процес відбувається за короткий проміжок часу і здатність тросів демпфірувати зусилля не дає значного впливу на максимальні результати, дисипативні складники теж не ввійшли в модель.

Для досліджень прийнято двомасову модель суднового стрілового крана (рис. 3), де m_1 — маса вантажу; m_2 — приведена до поступального руху вантажу маса стріли; c_1 — коефіцієнт жорсткості вантажного поліспасти; c_2 — коефіцієнт жорсткості гілок тросів, що йдуть на барабан лебідки механізму підйому; c_3 — жорсткість стрілового поліспасти після обриву троса; c_4 — жорсткість пружинного компенсатора-уловлювача; G_1 — вага вантажу; G_2 — вага стріли; y_1 , y_2 — переміщення мас m_1 та m_2 щодо недеформованого стану системи.

Зусилля у стріловому поліспасті

$$F = \frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4} y_2.$$

Зусилля у поліспастовому підвісі вантажу

$$S = \frac{\left(\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \right) \left(\frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4} \right)}{\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} + \frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4}} (y_1 - y_2).$$

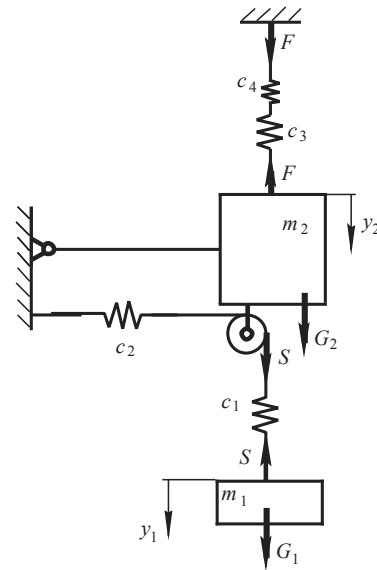


Рис. 3. Двомасова модель суднового стрілового крана

Рівняння руху мас після обриву троса

$$\begin{cases} m_1 \ddot{y}_1 - \frac{\left(\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \right) \left(\frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4} \right)}{\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} + \frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4}} (y_1 - y_2) + G_1 = 0; \\ m_2 \ddot{y}_2 + \frac{\left(\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \right) \left(\frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4} \right)}{\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} + \frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4}} (y_1 - y_2) - \frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4} y_2 + G_2 = 0. \end{cases}$$

Початкові умови

$$\begin{aligned} t = 0; \quad y_1 &= \frac{G_1}{\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}} + \frac{G_1 + G_2}{c_3}; \\ \dot{y}_1 &= 0; \quad y_2 = \frac{G_1 + G_2}{c_3}; \quad \dot{y}_2 = 0. \end{aligned}$$

Результати розв'язання рівнянь методом Рунге-Кутта наведено у вигляді графіків зусиль у стріловому й вантажному поліспасти для стрілового крана вантажопідйомністю 5 т (рис. 4, а).

Аналіз розрахунків свідчить, що максимальне зусилля в стріловому поліспасті $F = 99,6$ кН. Статичне навантаження на стріловий поліспаст $F_{st} = G_1 + G_2 = 65,9$ кН. Відповідно коефіцієнт динамічності зусиль у стріловому поліспасті $k_F = 1,51$. У підвісі вантажу $S = 92,1$ кН коефіцієнт динамічності $k_S = 1,8$. Для кранів, вантажопідйомність яких менша 161 т, такі коефіцієнти були б досить непогані.

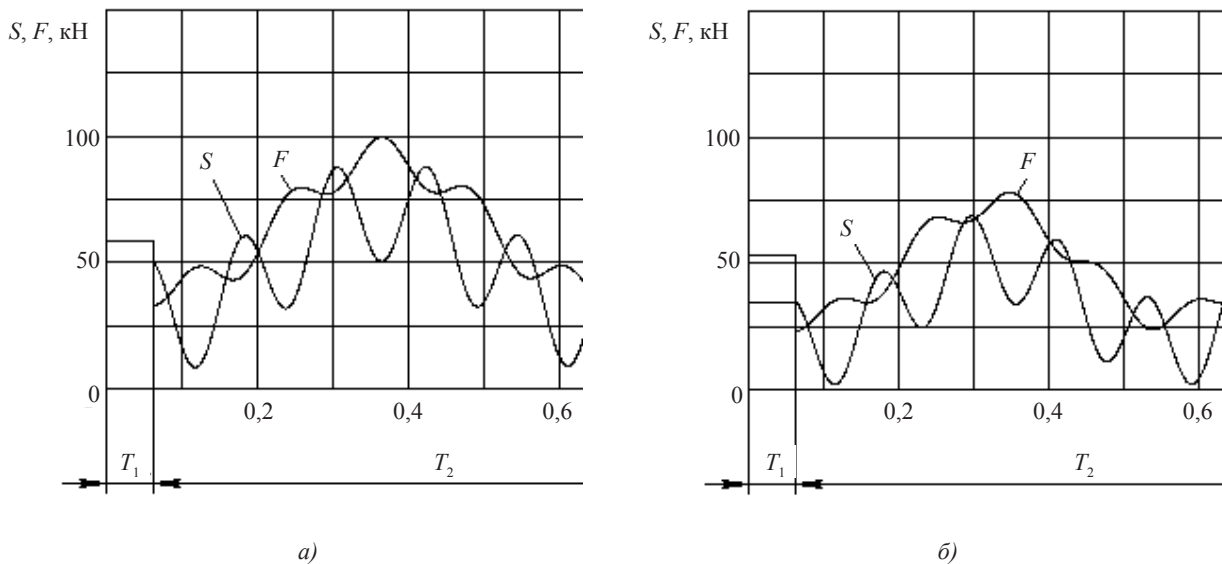


Рис. 4. Графіки зусиль у стріловому й вантажному поліспадах для стрілового крана вантажопідйомністю 5 т

Для тросів стрілових і вантажних поліспастів кранів вантажопідйомністю 161 т і більше регламентований коефіцієнт запасу міцності $k = 3$ [8]. Трос, який залишиться цілим після обриву іншого, у зведеному поліспасті буде мати запас міцності у два рази менший. А з урахуванням зменшення площі поперечного перерізу троса до норм бракування та втрати міцності під час згинання на блоках поліспаста до 50% [9] можна стверджувати що його обрив неминучий також і для кранів вантажопідйомністю 160 т і менше під час використання досліджуваної конструкції поліспаста.

Для визначення умов, за яких є можливість утримати стрілу після обриву троса, проведено розрахунки для вантажу масою, меншою за номінальну. Така маса для даної конструкції крана — 3,6 т. Результати розв'язань наведено на рис. 4, б. Максимальне зусилля у стріловому підвісі $F = 78,3$ кН. Так, коефіцієнт динамічності $k_F = 1,2$. У підвісі вантажу $S = 68,7$ кН, відповідно $k_S = 1,37$. Коефіцієнти динамічності не перевищують запас міцності троса. Це свідчить про можливість утримання стріли з вантажем на другому тросі з подальшим завершенням вантажної операції.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Порівняльний аналіз отриманих коефіцієнтів динамічності зусиль і коефіцієнтів запасу міцності тросів показує, що для кранів вантажопідйомністю більше 161 т втримати стрілу не є можливим. Коефіцієнт динамічності зусилля у стріловому тросі практично дорівнює його запасу міцності. З урахуванням втрати несучої здатності троса під час його зносу до норм бракування, а також втрати його міцності при згині на блоках, можна зробити висновок, що балансир із пружинним штоком не забезпечує необхідного зниження динамічних навантажень навіть для кранів вантажопідйомністю до 160 т.

Для запобігання падінню стріли після обриву троса стрілового поліспаста необхідно розробити нові технічні вирішення. Це вимагає подальших досліджень динамічних процесів у силовому ланцюзі крана після обриву троса стрілового поліспаста та визначення необхідних законів опору руху зрівняльних пристроїв.

Виведені диференційні рівняння можна використовувати для створення графічної моделі динамічного процесу навантажень на стріловий та вантажний канати, для визначення маси вантажу, який може бути утриманий під час відмови каната стрілового поліспаста.

Список літератури

- [1] Стукаленко, А. М., & Кылынник, А. А. (2016). Анализ динамических нагрузок судового стрелового крана при отказе топенанта сдвоенного стрелового полиспаста. *Енергетика судна: експлуатація та ремонт*: зб. тез доп. наук.-техн. конф., Т. 1., 21.03.12–23.03.12. Одеса, 32-33.
- [2] Косяченко, И. Г. (1973). Патентоспособность морских плавучих кранов. *Судостроение*, 4, 26-28.
- [3] Сдвоенный полиспаст стрелового крана: а.с. 170159 СССР, МПК В 66с. № 840909/27-11; заявл. 10.04.61; опубл. 09.04.65, Бюл. № 8.
- [4] Номерованный, Б. С., & Козлов, М. А. (1971). Распределение усилий в ветвях каната безопасного канатного полиспаста при обрыве одной из них. *Стальные канаты*. Сб. науч. тр. Киев: Техніка, 8, 217-219.

- [5] Стукаленко, М. И., Стукаленко, А. М., & Семенюк, В. Ф. (2001). Создание безопасных сдвоенных полиспастов с уравнительными фрикционными устройствами. *Подъемные сооружения и специальная техника*, 2, 9-11.
- [6] Козлов, М. А., Вудвуд, А. Н., & Химченко, В. Г. (2009). Теория и практика проектирования устройств, предотвращающих аварии грузоподъемных кранов при обрыве канатов. *Подъемные сооружения. Специальная техника*, 1, 29-30.
- [7] Швачунов, А. С., & Дорохов, Н. Ю. (2013). Проектирования устройств, предотвращающих аварии грузоподъемных кранов при обрыве каната. *Машинобудування: зб. наук. пр. Харків*, 11, 76-81.
- [8] *Регістр судноплавства України* (2011). Правила щодо вантажопідіймальних пристроїв морських суден.
- [9] Никитин, И. Ф., & Щербак, О. В. (2007). Исследование изгиба каната на блоках. *Вестн. ХНАДУ*, 38, 108-110.

© О. М. Стукаленко, Д. І. Васи́лець

Статтю рекомендує до друку
д-р техн. наук, проф. О. С. Рашковський